



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of	)	
	)	
Kiyohide SAKAI et al.	)	Group Art Unit: Unassigned
	)	
Application No.: Unassigned	)	Examiner: Unassigned
	)	
Filed: February 13, 2002	)	
	)	
For: Semiconductor Laser Device And Optical	)	
Fiber Amplifier	)	
	)	
	)	
	)	

#2  
D. Scott  
5-102

CLAIM FOR CONVENTION PRIORITY

Assistant Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application in the following foreign country is hereby requested, and the right of priority provided in 35 U.S.C. § 119 is hereby claimed:

Japanese Patent Application No. 2001-367479

Filed: November 30, 2001

In support of this claim, enclosed is a certified copy of said prior foreign application. Said prior foreign application was referred to in the oath or declaration. Acknowledgment of receipt of the certified copy is requested.

Respectfully submitted,

BURNS, DOANE, SWECKER & MATHIS, L.L.P.

By:

Platon N. Mandros  
Registration No. 22,124

Date: February 13, 2002

P.O. Box 1404  
Alexandria, Virginia 22313-1404  
(703) 836-6620

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

JC978 U.S. PTO  
10/073221  
02/13/02

This is to certify that the annexed is a true copy of  
the following application as filed with this Office.

Date of Application : November 30, 2001

Application Number : Japanese Patent Application No. 2001-367479

Applicant(s) : MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA

This 21st day of December, 2001

Commissioner,  
Japan Patent Office Kozo OIKAWA

Certificate No. 2001-3111088

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

JC978 U.S. PRO  
10/073221  
02/13/02

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年11月30日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-367479

出 願 人

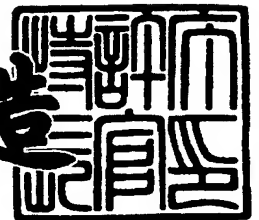
Applicant(s):

三菱電機株式会社

2001年12月21日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3111088

【書類名】 特許願

【整理番号】 534853JP01

【提出日】 平成13年11月30日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01S 3/00

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社  
社内

【氏名】 酒井 清秀

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社  
社内

【氏名】 浜田 雄彦

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社  
社内

【氏名】 藤田 豪

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社  
社内

【氏名】 吉田 保明

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社  
社内

【氏名】 嶋原 君男

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社  
社内

【氏名】 八田 竜夫

【特許出願人】

【識別番号】 000006013

【氏名又は名称】 三菱電機株式会社

【代理人】

【識別番号】 100066474

【弁理士】

【氏名又は名称】 田澤 博昭

【選任した代理人】

【識別番号】 100088605

【弁理士】

【氏名又は名称】 加藤 公延

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 020640

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体レーザ装置および光増幅装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光ファイバグレーティングが形成されるとともに、レーザ光を導波する光ファイバと、

単一量子井戸からなる活性層を有し、上記レーザ光を出射する半導体レーザ素子と、上記半導体レーザ素子から出射した上記レーザ光を上記光ファイバへ結合する結合光学系とから構成されるポンプレーザモジュールとを備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項 2】 光ファイバグレーティングが形成されるとともに、レーザ光を導波する光ファイバと、

量子結合が発生する間隔にまで狭められた少なくとも 2 つの量子井戸からなる活性層を有し、上記レーザ光を出射する半導体レーザ素子と、上記半導体レーザ素子から出射した上記レーザ光を上記光ファイバへ結合する結合光学系とから構成されるポンプレーザモジュールとを備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項 3】 結合光学系は、

半導体レーザ素子からのレーザ光の入射角を調整する構造を有した狭帯域フィルタを備えることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の半導体レーザ装置。

【請求項 4】 光ファイバグレーティングは、

半導体レーザ素子の 3 d B 利得帯域幅またはスペクトラム半値幅よりも広いかまたは略等しくなるように、その反射波長帯域が設定されることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の半導体レーザ装置。

【請求項 5】 結合光学系は、

半導体レーザ素子からのレーザ光の入射角を調整する構造を有した狭帯域フィルタを備え、

光ファイバグレーティングは、

上記半導体レーザ素子の 3 d B 利得帯域幅またはスペクトラム半値幅よりも広

いかまたは略等しくなるように、その反射波長帯域が設定されることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の半導体レーザ装置。

【請求項 6】 結合光学系は、

半導体レーザ素子からのレーザ光を平行光にして狭帯域フィルタへ出射するコリメータレンズと、上記狭帯域フィルタから出射したレーザ光を光ファイバへ集光するコンデンサレンズとを備えることを特徴とする請求項 3 または請求項 5 記載の半導体レーザ装置。

【請求項 7】 半導体レーザ素子は、

約 1 0 % 以下の反射率に設定された反射防止膜をレーザ光出射面に備えることを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のうちのいずれか 1 項記載の半導体レーザ装置。

【請求項 8】 反射防止膜は、

光ファイバグレーティングの反射率よりも低い反射率に設定されることを特徴とする請求項 7 記載の半導体レーザ装置。

【請求項 9】 半導体レーザ素子は、

単一量子井戸の活性層外側の光ガイド層より屈折率が低く、かつ電流障壁にならない薄さの層を上記光ガイド層の外側に備えることを特徴とする請求項 1 記載の半導体レーザ装置。

【請求項 1 0】 半導体レーザ素子は、

活性層、バリア層およびガイド層を歪補償構造に形成されることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の半導体レーザ装置。

【請求項 1 1】 半導体レーザ素子は、

8 n m 以下の間隔で形成された少なくとも 2 つの量子井戸を有することを特徴とする請求項 2 または請求項 3 記載の半導体レーザ装置。

【請求項 1 2】 光ファイバグレーティングは、

少なくとも 5 n m 以上の反射帯域を有することを特徴とする請求項 3 または請求項 5 記載の半導体レーザ装置。

【請求項 1 3】 狭帯域フィルタは、

上記狭帯域フィルタへ入射するレーザ光の入射角が高温になるほど 9 0 ° に近

づくように、上記狭帯域フィルタへの入射角を調整する入射角調整機構を備えることを特徴とする請求項 3 または請求項 5 記載の半導体レーザ装置。

【請求項 1 4】 半導体レーザ素子は、

単一量子井戸の活性層を 1 0 n m から 2 5 n m までの厚さに形成されることを特徴とする請求項 1 記載の半導体レーザ装置。

【請求項 1 5】 請求項 1 から請求項 1 4 のうちのいずれか 1 項記載の半導体レーザ装置と、

上記半導体レーザ装置が出射した励起光と信号光とを結合する励起光／信号光結合手段と、

光ファイバに希土類を添加して構成され、上記励起光／信号光結合手段からの上記励起光によって励起されて上記励起光／信号光結合手段からの上記信号光を増幅する希土類添加光ファイバとを備えることを特徴とする光増幅装置。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

この発明は、半導体レーザ素子から出射したレーザ光の発振波長変動を光ファイバグレーティングで抑制する半導体レーザ装置に係るものであり、またこの発明は、この半導体レーザ装置を用いた光増幅装置に関するものである。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

図 1 1 は従来の半導体レーザ装置の構成を示す図である。図 1 1 において、1 1 0 はレーザ光を出射するポンプレーザモジュール、1 2 0 はポンプレーザモジュール 1 1 0 からのレーザ光を導波する光ファイバ、1 3 0 は光ファイバ 1 2 0 に形成された光ファイバグレーティングである。

【 0 0 0 3 】

また図 1 1 のポンプレーザモジュール 1 1 0 において、1 1 1 は 9 8 0 n m 帯の半導体レーザ素子、1 1 2 はポンプレーザモジュール 1 1 0 の温度をモニタする温度モニタ、1 1 3 は温度モニタ 1 1 2 のモニタ結果に応じてポンプレーザモジュール 1 1 0 の温度を一定に保つ冷却器、1 1 5 は半導体レーザ素子 1 1 1 の



出力光を光ファイバ120へ結合する結合光学系である。

【0004】

980nm帯のレーザ光は、EDFA（エルビウム・ドープ・ファイバ・アンプ）の励起に用いられる。この励起の際に、レーザ光の発振波長が変動するとEDFAの利得波長特性も変動してしまうため、利得波長特性の変動対策としてポンプレーザモジュール110の出力に光ファイバグレーティング130を設けている。

【0005】

図12は半導体レーザ素子111の構造例を示す図である。図12において、111aはn電極、111bはGaAs基板、111cはnクラッド層、111dは多重量子井戸（MQW）活性層、111eはpクラッド層、111fはp電極である。従来の半導体レーザ装置では、MQW活性層111dを有する半導体レーザ素子111を用いている。

【0006】

図13は半導体レーザ素子111のMQW活性層111d付近におけるエネルギーバンド構造を示す図である。図13において、142は伝導帯、143は価電子帯、146A、146Bはそれぞれ量子井戸、147はバリア層、144はガイド層、145はクラッド層である。量子井戸146A、146BはIn組成0.2のInGaAsから、バリア層147はAl組成0.2のAlGaAsから、ガイド層144はAl組成0.2のAlGaAsから、クラッド層145はAl組成0.48のAlGaAsからそれぞれ形成されている。

【0007】

MQW活性層111dの井戸数は通常2～4個、量子井戸146A、146Bの厚さ $L_z$ は5nm～15nmであり、またバリア層147の厚さ $L_b$ は10nm～50nm、ガイド層144の厚さは10nm～500nmである。上記のAlGaAsのAl組成は、光閉じ込めの観点から0.0～0.5の間で調整される。

【0008】

p電極111fとn電極111aとの間に順方向へ電流が流れ、電子とホール

とをMQW活性層111dへ注入して反転分布が形成されることにより、MQW活性層111dのバンドギャップで決まる980nm帯の発振波長で半導体レーザ素子111はレーザ発振し、結合光学系115を介して光ファイバ120へレーザ光を出射する。

## 【0009】

一般に半導体レーザ素子はバンド間遷移を利用するため広い波長範囲（～10数nm）にわたって利得を持ち、個々の素子や温度変化によって半導体レーザ素子111の発振波長が異なったり変化したりするのだが、従来の半導体レーザ装置では、外部共振器としての光ファイバグレーティング130により半導体レーザ装置の発振波長の変動を抑制することができる。この光ファイバグレーティング130を備えた半導体レーザ装置の詳細については、例えば次の＜文献1＞に開示されている。

## 【0010】

## ＜文献1＞

Martin Achtenhagen, et al: "L-I Characteristics of Fiber Bragg Grating Stabilized 980-nm Pump Lasers", IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, VOL. 13, NO. 5 MAY 2001

## 【0011】

しかしながら、半導体レーザ素子111の自己発熱や周囲の温度変化によって、ポンプレーザモジュール110の温度が大きく変化すると、閾値利得分布の波長特性も変化する。一方、光ファイバグレーティング130の波長特性は固定されたままなので、外部共振モードで発振しなくなり、発振波長を一定に保つことができなくなってしまう。

## 【0012】

このため、図11の半導体レーザ装置には温度制御機構を設けている。すなわち従来の半導体レーザ装置は、ポンプレーザモジュール110の温度を温度モニタ112でモニタし、不図示の温度制御器によって冷却器113への電流を制御

してポンプレーザモジュール 1 1 0 の温度を一定に保つように構成されている。  
 このようにして、発振波長を安定化しており、E D F A に適用した場合の利得波  
 長特性の変動を抑制している。なお、関連する従来技術としては、例えば特開  
 2 0 0 0 - 3 5 3 8 5 6 号公報などが挙げられる。

【 0 0 1 3 】

【発明が解決しようとする課題】

従来の半導体レーザ装置は以上のように構成されているので、発振波長を一定  
 に保つために、温度モニタ、温度制御器および冷却器などからなる温度制御機構  
 が必要になり、構成が複雑になってしまうという課題があった。

【 0 0 1 4 】

この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、温度制御機構  
 を要することなく、簡単な構成で発振波長を一定に保つことが可能な半導体レー  
 ザ装置を提供することを目的とする。

【 0 0 1 5 】

また、この発明は、低い温度制御分解能の温度制御機構または低能力の温度制  
 御機構によって発振波長の変動を抑制できる半導体レーザ装置を提供することを  
 目的とする。

【 0 0 1 6 】

さらに、この発明は、上記の半導体レーザ装置を励起用光源として備えて利得  
 波長特性の変動を抑制した光増幅装置を提供することを目的とする。

【 0 0 1 7 】

【課題を解決するための手段】

この発明に係る半導体レーザ装置は、光ファイバグレーティングが形成される  
 とともに、レーザ光を導波する光ファイバと、単一量子井戸からなる活性層を有  
 し、レーザ光を出射する半導体レーザ素子と、半導体レーザ素子から出射したレ  
 ーザ光を光ファイバへ結合する結合光学系とから構成されるポンプレーザモジュ  
 ールとを備えるようにしたものである。

【 0 0 1 8 】

この発明に係る半導体レーザ装置は、光ファイバグレーティングが形成される

とともに、レーザ光を導波する光ファイバと、量子結合が発生する間隔にまで狭められた少なくとも2つの量子井戸からなる活性層を有し、レーザ光を出射する半導体レーザ素子と、半導体レーザ素子から出射したレーザ光を光ファイバへ結合する結合光学系とから構成されるポンプレーザモジュールとを備えるようにしたものである。

【0019】

この発明に係る半導体レーザ装置は、半導体レーザ素子からのレーザ光の入射角を調整する構造を有した狭帯域フィルタを結合光学系が備えるようにしたものである。

【0020】

この発明に係る半導体レーザ装置は、半導体レーザ素子の3dB利得帯域幅またはスペクトラム半値幅よりも広いかまたは略等しくなるように、光ファイバグレーティングの反射波長帯域が設定されるようにしたものである。

【0021】

この発明に係る半導体レーザ装置は、半導体レーザ素子からのレーザ光の入射角を調整する構造を有した狭帯域フィルタを結合光学系が備え、半導体レーザ素子の3dB利得帯域幅またはスペクトラム半値幅よりも広いかまたは略等しくなるように、光ファイバグレーティングの反射波長帯域が設定されるようにしたものである。

【0022】

この発明に係る半導体レーザ装置は、半導体レーザ素子からのレーザ光を平行光にして狭帯域フィルタへ出射するコリメータレンズと、狭帯域フィルタから出射したレーザ光を光ファイバへ集光するコンデンサレンズとを結合光学系が備えるようにしたものである。

【0023】

この発明に係る半導体レーザ装置は、約10%以下の反射率に設定された反射防止膜を半導体レーザ素子がレーザ光出射面に備えるようにしたものである。

【0024】

この発明に係る半導体レーザ装置は、光ファイバグレーティングの反射率より

も低い反射率に反射防止膜が設定されるようにしたものである。

【 0 0 2 5 】

この発明に係る半導体レーザ装置は、単一量子井戸の活性層外側の光ガイド層より屈折率が低く、かつ電流障壁にならない薄さの層を半導体レーザ素子が光ガイド層の外側に備えるようにしたものである。

【 0 0 2 6 】

この発明に係る半導体レーザ装置は、半導体レーザ素子の活性層、バリア層およびガイド層を歪補償構造に形成されるようにしたものである。

【 0 0 2 7 】

この発明に係る半導体レーザ装置は、8 nm以下の間隔で形成された少なくとも2つの量子井戸を半導体レーザ素子が有するようにしたものである。

【 0 0 2 8 】

この発明に係る半導体レーザ装置は、少なくとも5 nm以上の反射帯域を光ファイバグレーティングが有するようにしたものである。

【 0 0 2 9 】

この発明に係る半導体レーザ装置は、狭帯域フィルタへ入射するレーザ光の入射角が高温になるほど90°に近づくように、狭帯域フィルタへの入射角を調整する入射角調整機構を狭帯域フィルタが備えるようにしたものである。

【 0 0 3 0 】

この発明に係る半導体レーザ装置は、単一量子井戸の活性層を10 nmから25 nmまでの厚さに半導体レーザ素子が形成されるようにしたものである。

【 0 0 3 1 】

この発明に係る光増幅装置は、請求項1から請求項14のうちのいずれか1項記載の半導体レーザ装置と、半導体レーザ装置が出射した励起光と信号光とを結合する励起光／信号光結合手段と、光ファイバに希土類を添加して構成され、励起光／信号光結合手段からの励起光によって励起されて励起光／信号光結合手段からの信号光を増幅する希土類添加光ファイバとを備えるようにしたものである。

【 0 0 3 2 】

## 【発明の実施の形態】

以下、この発明の実施の一形態を説明する。

## 実施の形態 1.

図 1 はこの発明の実施の形態 1 による半導体レーザ装置の構成を示す図である。図 1 において、10 はレーザ光を出射するポンプレーザモジュール、20 はポンプレーザモジュール 10 からのレーザ光を導波する光ファイバ、30 は光ファイバ 20 に形成された光ファイバグレーティングである。

## 【0033】

また図 1 のポンプレーザモジュール 10 において、11 は単一量子井戸 (SQW) 活性層を有する半導体レーザ素子、14 は半導体レーザ素子 11 のレーザ光出射面に設けられた反射防止膜、15 は半導体レーザ素子 11 のレーザ光出射面から出射したレーザ光を光ファイバ 20 へ結合する結合光学系である。

## 【0034】

従来の半導体レーザ装置と比較すると分かるように、図 1 のポンプレーザモジュール 10 には、SQW 活性層の半導体レーザ素子 11 を用いている。また、ポンプレーザモジュール 10 の温度をモニタするための温度モニタや、ポンプレーザモジュール 10 の温度を一定に保つ冷却器などの温度制御機構が設けられていない。

## 【0035】

図 2 は半導体レーザ素子 11 の SQW 活性層付近におけるエネルギーバンド構造を示す図である。図 2 において、41 は SQW 活性層、42 は伝導帯、43 は価電子帯、44 はガイド層、45 はクラッド層である。SQW 活性層 41 は In 組成 0.2 の InGaAs から、ガイド層 44 は Al 組成 0.2 の AlGaAs から、クラッド層 45 は Al 組成 0.48 の AlGaAs からそれぞれ形成されている。

## 【0036】

半導体レーザ素子 11 の SQW 活性層 41 の厚さ  $L_z$  は 10 nm ~ 25 nm でこの例では 18 nm、またガイド層 44 の厚さは 10 nm ~ 500 nm である。AlGaAs の Al 組成は光閉じ込めの観点から 0.0 ~ 0.5 の間で調整され

る。

【 0 0 3 7 】

この発明の半導体レーザ装置の特長は次の2点である。

＜特長1＞ 半導体レーザ素子11の発振波長が異なったり変化した場合、従来と同様に、光ファイバグレーティング30によって発振波長を一定に保つことができる。

＜特長2＞ ポンプレーザモジュール10の温度が大きく変化した場合、従来と異なって、温度制御機構を設けることなく広い温度変化範囲にわたって発振波長を一定に保つことができる。これは後述するように、半導体レーザ素子11の利得スペクトル幅が広いからであり、このため光ファイバグレーティング30の波長ロックを外れにくしたことによるものである。

【 0 0 3 8 】

まず、＜特長1＞の動作原理について一般的に説明する。

図3は光ファイバグレーティングによって発振波長が一定に保たれる動作を説明するための図である。図3（a）は電流変化に対する利得スペクトルの変化を、図3（b）は温度変化に対する利得スペクトルの変化をそれぞれ模式的に表している。なお横軸は波長（nm），縦軸は利得（ $\text{cm}^{-1}$ ）である。

【 0 0 3 9 】

図3（a），図3（b）において、 $S_1 \sim S_7$ は半導体レーザ素子の利得スペクトルである。図3（a）では、ある電流値における利得スペクトル $S_1$ が電流値の増加とともに利得スペクトル $S_2$ ，利得スペクトル $S_3$ へと順次変化している。なお後で図示するように、利得スペクトル $S_1 \sim S_7$ は複雑な形をしているが、説明のため簡略化した形状としている。

【 0 0 4 0 】

また図3（a），図3（b）の符号Gで示される直線は、半導体レーザ素子単独の場合の共振器利得である。ここで半導体レーザ素子単独とは、光ファイバグレーティングを半導体レーザ装置の出力に設けていない場合を意味する。半導体レーザ素子の損失を $\alpha$ ，共振器長をL，前面反射率を $R_f$ ，後面反射率を $R_r$ ，光閉じ込め係数を $\Gamma$ とすると、共振器利得Gは次の式（1）で表される。

【0041】

$$\Gamma \cdot G = \alpha + 0.5L \cdot \ln [1 / (R_f \cdot R_r)] \quad (1)$$

【0042】

さらに図3(a), 図3(b)の符号 $G_{fg}$ で示される共振器利得 $G$ の折れ曲がった部分は、光ファイバグレーティングを半導体レーザ装置の出力に設けた場合のモード利得である。光ファイバグレーティングを設けた場合の半導体レーザ素子の等価的な前面反射率 $R_{eff}$ を用いると、モード利得 $G_{fg}$ は次の式(2)で表される。

【0043】

$$\Gamma \cdot G_{fg} = \alpha + 0.5L \cdot \ln [1 / (R_{eff} \cdot R_r)] \quad (2)$$

【0044】

式(1), 式(2)において、損失 $\alpha$ は $1 \sim 20 \text{ cm}^{-1}$ , 共振器長 $L$ は $500 \mu\text{m} \sim 3000 \mu\text{m}$ , 前面反射率 $R_f$ は10%以下、等価的な前面反射率 $R_{eff}$ は20%以下、後面反射率 $R_r$ は80%以上、光閉じ込め係数 $\Gamma$ は $0.001 \sim 0.1$ である。ここでの例では、 $\alpha = 4 \text{ cm}^{-1}$ ,  $L = 900 \mu\text{m}$ ,  $R_f = 1\%$ ,  $R_{eff} = 4\%$ ,  $R_r = 98\%$ ,  $\Gamma = 0.0175$ であり、このとき $G = 1700 \text{ cm}^{-1}$ ,  $G_{fg} = 1260 \text{ cm}^{-1}$ となる。

【0045】

光ファイバグレーティングを設けていない場合、利得スペクトル $S_2$ の最大値とモード利得 $G$ とが一致する波長 $\lambda_1$ で半導体レーザ素子は発振する。一方、光ファイバグレーティングを設けた場合には、利得スペクトル $S_2$ よりも電流の小さな利得スペクトル $S_1$ とモード利得 $G_{fg}$ とが一致する注入電流で半導体レーザ素子は発振し、その発振波長は光ファイバグレーティングの反射波長 $\lambda_{fg}$ , 例えば $980 \text{ nm}$ となる。実施の形態1および実施の形態2では $980 \text{ nm}$ 帯のポンプレーザモジュールの例を示したが、他の波長帯、例えば $1480 \text{ nm}$ 帯のポンプレーザモジュールにも適用できる。

【0046】

ここで温度が上昇すると、図3(b)に示すように、利得スペクトル $S_1$ は利得スペクトル $S_4$ ,  $S_5$ へと変化していくが、光ファイバグレーティングによっ



て半導体レーザ素子の発振波長は一定の波長 $\lambda_{fg}$ でロックされた状態となる。  
ただし、利得スペクトル $S_5$ では発振波長は $\lambda_{fg}$ と $\lambda_2$ の競合状態となる。

【0047】

さらに高温になって、モード利得 $G$ を越える最大値を持った利得スペクトル $S_6$ の状態になると、最大値が共振器利得 $G$ と等しい利得スペクトル $S_7$ の電流値の方が利得スペクトル $S_6$ の場合よりも小さいため、光ファイバグレーティングによるロックが外れ、利得スペクトル $S_7$ と共振器利得 $G$ との一致する波長 $\lambda_3$ で発振するようになる。

【0048】

なお、上記の計算例からわかるように、半導体レーザ素子の光出射面に設けた反射防止膜の反射率 $R_f$ を低反射（特に10%以下）とすることによって、半導体レーザ素子単独の場合のモード利得 $G$ と、光ファイバグレーティングがある場合のモード利得 $G_{fg}$ との差を大きくすることができるので、光ファイバグレーティングによる波長ロック状態をより広い温度範囲にわたって保つことができる。

【0049】

ところで、図3（b）での説明から分かるように、980nm帯付近における利得スペクトル幅が広く利得スペクトルの山が平坦なほど、波長ロックの温度変化範囲を広くすることができる。一般にMQW活性層の半導体レーザ素子は、利得スペクトルの半値幅が狭いため単一モード発振を得やすいという利点があるが、光ファイバグレーティングによる波長ロックの観点から考えた場合には、上記の理由から不利が生じる。

【0050】

以上のことを踏まえて、SQW活性層の半導体レーザ素子11を備えたこの実施の形態1による半導体レーザ装置において、波長ロック可能な温度範囲が広がる理由、つまり＜特長2＞について次に説明する。

【0051】

図4はこの発明の実施の形態1による半導体レーザ装置の効果を説明するための図であり、横軸は波長（nm）、縦軸は利得（ $\text{cm}^{-1}$ ）である。図4（a）

は井戸の厚さが 8 nm 場合の利得スペクトルの計算例、図 4 (b) は井戸の厚さが 18 nm 場合の利得スペクトルの計算例で、従来の MQW 活性層 111d の利得スペクトル、この発明の SQW 活性層 41 の利得スペクトルにそれぞれ対応している。

#### 【0052】

図 4 の 6 本の曲線は下からキャリア濃度を  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  から  $3.1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  まで  $6.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  間隔で変えた場合のスペクトルを示しており、波長 980 nm における利得が、例えば  $1600 \text{ cm}^{-1}$  となる場合 (図 3 の例) が発振状態のスペクトルに相当する。図 4 (a) と図 4 (b) とを比較すると分かるように、MQW 活性層 111d の発振状態における 980 nm 付近の利得スペクトル幅は狭く、波長に対する変化が急峻であり、これに対して SQW 活性層 41 の 980 nm 帯付近の利得スペクトル幅は  $e2-hh2$  遷移の影響を受けて広く平坦になっている。このため、前述した理由 (段落番号 0049 の「利得スペクトル幅が広く利得スペクトルの山が平坦なほど、波長ロックの温度変化範囲を広くすることができる」) により、図 1 の半導体レーザ装置は、広い温度範囲にわたってレーザ光の発振波長を一定に保つことができる。

#### 【0053】

つまり、一般に MQW 活性層の半導体レーザ素子は、その利得スペクトルの半値幅が狭いことにより単一モード発振しやすいという利点があり、一方 SQW 活性層の半導体レーザ素子は単一モード発振しにくいという欠点がある。しかしながら、光ファイバグレーティング 30 による波長ロックにとっては、上記の利点と欠点とは逆の関係になる。この実施の形態 1 では、通常は欠点となる SQW 活性層の利得スペクトルの半値幅が広く平坦であることを利用して、光ファイバグレーティング 30 による波長ロック範囲を広げている。

#### 【0054】

このようにすることで、従来の半導体レーザ装置と異なり、温度制御機構を備えることなく、簡単な構成で広い温度範囲にわたって発振波長変動を抑制することが可能になる。また、温度制御機構を備えるようにした場合であっても、発振波長の変動を抑制するための温度制御機構が従来よりも低い温度制御分解能また

は低能力のもので済むようになり、加えて、半導体レーザ素子11の閾値利得の製造バラツキと光ファイバグレーティング30の波長特性との組合せの管理を緩和できるという利点がある。

## 【0055】

以上のように、この実施の形態1によれば、光ファイバグレーティング30が形成されるとともに、レーザ光を導波する光ファイバ20と、SQW活性層41を有してレーザ光を出射する半導体レーザ素子11と、半導体レーザ素子11から出射したレーザ光を光ファイバ20へ結合する結合光学系15とから構成されるポンプレーザモジュール10とを備えるようにしたので、従来と比較して広い温度範囲にわたりレーザ光の発振波長を一定に保つことができるようになり、温度制御機構が不要になって簡単な構成で発振波長を一定に保つことができるという効果が得られ、温度制御機構を要した場合にも、低い温度制御分解能の温度制御機構または低能力の温度制御機構によって発振波長の変動を抑制でき、半導体レーザ素子の閾値利得の製造バラツキと光ファイバグレーティング30の波長特性との組合せの管理を緩和できる。

## 【0056】

また、この実施の形態1によれば、反射率10%以下の反射防止膜14を半導体レーザ素子11のレーザ光出射面に備えるようにしたので、光ファイバグレーティング30による波長ロック状態をより広い温度範囲にわたって保つことができる。

## 【0057】

さらに、この実施の形態1によれば、光ファイバグレーティング30の反射率よりも低い反射率に反射防止膜14が設定されるようにしたので、光ファイバグレーティング30による波長ロック状態をより広い温度範囲にわたって保つことができるという効果が得られる。

## 【0058】

さらに、この実施の形態1によれば、単一量子井戸の活性層を10nmから25nmまでの厚さに半導体レーザ素子11が形成されるようにしたので、単一量子井戸の活性層の利得スペクトルの半値幅を広く平坦にすることができ、光ファ

イバグレーティング 3 0 による波長ロック範囲を広げることができるという効果が得られる。

#### 【 0 0 5 9 】

実施の形態 2.

図 5 はこの発明の実施の形態 2 による半導体レーザ装置の構成を示す図である。図 1 と同一符号は同一または相当する構成を表している。図 5 において、1 6 は結合多重量子井戸（結合 MQW）活性層を有する半導体レーザ素子である。

#### 【 0 0 6 0 】

図 6 は半導体レーザ素子 1 6 の結合 MQW 活性層付近におけるエネルギーバンド構造を示す図である。図 2 と同一符号は同一または相当する構造を示している。図 6 において、4 6 A、4 6 B はそれぞれ In 組成 0. 2 の InGaAs からなる量子井戸、4 7 は Al 組成 0. 2 の AlGaAs からなるバリア層、4 8 は 2 つの量子井戸 4 6 A、4 6 B が結合した結合 MQW 活性層である。

#### 【 0 0 6 1 】

結合 MQW 活性層 4 8 の量子井戸 4 6 A、4 6 B の厚さ  $L_z$  は 5 nm ~ 1 5 nm、バリア層 4 7 の厚さ  $L_b$  は 0. 1 nm ~ 8 nm、ガイド層 4 4 の厚さは 1 0 nm ~ 5 0 0 nm である。この例では、 $L_z = 8$  nm、バリア層 4 7 の厚さ  $L_b = 3$  nm、ガイド層 4 4 の厚さ = 5 0 nm ある。Al 組成など他の条件は図 2 と同等である。

#### 【 0 0 6 2 】

実施の形態 1 と同様に、この実施の形態 2 による半導体レーザ装置は、光ファイバグレーティング 3 0 を備えているため＜特長 1＞を有している。加えて、半導体レーザ素子 1 6 のバリア層 4 7 幅を 3 nm とし量子結合を発生させるように狭めているので、トンネル効果による準位の相互作用によって準位が分裂し、半導体レーザ素子 1 6 の利得スペクトルが広がるようになる。つまり実施の形態 1 と同様に、この実施の形態 2 の半導体レーザ装置は＜特長 2＞も有している。

#### 【 0 0 6 3 】

また、結合 MQW 活性層 4 8 を用いるので、量子井戸 4 6 A、4 6 B の厚さ  $L_z$  を臨界膜厚以下に薄くしても、十分な光閉じ込め係数を容易に得ることができ

、設計の自由度を向上することができる。ここで臨界膜厚とは、活性層と基板との格子定数が異なっても結晶欠陥が発生することのない限界の活性層厚のことで、これ以上の厚さでは結晶欠陥が発生するため、InGaAsのようにGaAsと異なる格子定数を持つ材料を活性層に用いる場合、重要な指標である。

## 【0064】

この実施の形態2では、臨界膜厚以下の量子井戸46A、46Bを用いるので、機械的な応力による結晶欠陥発生の問題がなく、初期特性の劣化や動作中の光出力の低下、発振停止などの故障が起こることのない、信頼性の高い半導体レーザー装置が得られる。

## 【0065】

次に、この実施の形態2による結合MQW活性層48の半導体レーザー素子16を用いると波長ロック可能な温度範囲が広がる理由について説明する。

図7はこの発明の実施の形態2による半導体レーザー装置の効果を説明するための図であり、図7(a)は井戸の厚さ $L_z$ が8nm場合の単一量子井戸のバンド構造、図7(b)はトンネル効果による結合が量子井戸間にある場合のバンド構造である。図7(a)、図7(b)は従来の図13における多重量子井戸半導体レーザーの活性層111dとこの発明の図6における半導体レーザー素子16の結合MQW活性層48にそれぞれ対応しており、図7(b)では井戸の厚さ $L_z$ が8nm、バリア層の厚さ $L_b$ が3nmと狭くなっている。

## 【0066】

図7(a)、図7(b)において、51は電子のバンド、52Hはヘビーホールのバンド、52Lはライトホールのバンド、53および54はそれぞれ電子の第1サブバンドおよび第2サブバンド、55および56はそれぞれヘビーホールの第1サブバンドおよび第2サブバンド、57および58はそれぞれライトホールの第1サブバンドおよび第2サブバンド、59はバリア層である。

## 【0067】

例えば下記の<文献2>で説明されているように、図7(a)では、電子の第1サブバンド53とヘビーホールの第1サブバンド55の遷移( $e1-hh1$ )と、電子の第1サブバンド53とライトホールの第1サブバンド57の遷移( $e$

1-1h1) とが許容され、一方図7(b)では、バリア層幅を3nmと狭めたためにトンネル効果による準位の相互作用により準位が分裂し、遷移(e1-hh1), 遷移(e1-1h1)に加えて、電子の第2サブバンド54とヘビーホールの第2サブバンド56の遷移(e2-hh2)と電子の第2サブバンド54とライトホールの第2サブバンド58の遷移(e2-1h2)とが許容されるようになる。

【0068】

このため、図4(b)の場合と同様に、e1-hh1遷移付近が他の遷移の影響を受けて平坦になるため、光ファイバグレーティング30による波長ロック範囲を広げることができる。

【0069】

<文献2>

R. Dingle: "Confined Carrier Quantum State Ultrathin Semiconductor Heterostructure", Festkoerperprobleme XV, Advances in Solid-State Physics, p21~48 (1975).

【0070】

結合MQW活性層は、利得スペクトルの半値幅が広がって単一モード発振しにくくなるため一般に用いられないが、この実施の形態2では、通常は欠点となってしまう結合MQW活性層の広い利得スペクトル半値幅を逆に利用して、光ファイバグレーティング30による波長ロック範囲を広げるようにしている。

【0071】

以上のように、この実施の形態2によれば、光ファイバグレーティング30が形成されるとともに、レーザ光を導波する光ファイバ20と、結合MQW活性層を有してレーザ光を出射する半導体レーザ素子16と、半導体レーザ素子16から出射したレーザ光を光ファイバ20へ結合する結合光学系15とから構成されるポンプレーザモジュール10とを備えるようにしたので、閾値利得の波長幅を広くできるようになり、実施の形態1と同様に、広い温度範囲にわたりレーザ光

の発振波長を一定に保つことができ、温度制御機構が不要になって簡単な構成で発振波長を一定に保つことができるという効果が得られ、温度制御機構を要した場合にも、低い温度制御分解能の温度制御機構または低能力の温度制御機構によって発振波長の変動を抑制でき、半導体レーザ素子16の閾値利得の製造バラツキと光ファイバグレーティング30の波長特性との組合せの管理を緩和できるという効果が得られ、基板との間で発生する格子歪を小さくすることができ、信頼性の高い素子を提供できる。

## 【0072】

実施の形態3.

図8はこの発明の実施の形態3による半導体レーザ装置の構成を示す図である。図1と同一符号は同一または相当する構成を表している。図8において、17は狭帯域フィルタである。

## 【0073】

狭帯域フィルタ17は、結合光学系15を構成するコリメータレンズ15Aとコンデンサレンズ15Bとの間に設けられており、SQW活性層の半導体レーザ素子11からのレーザ光の入射角を任意の角度に組み込めるような構造を有している。また、この実施の形態3では、半導体レーザ素子11の3dB利得帯域幅またはスペクトラム半値幅よりも広いかまたは略等しくなるように、光ファイバ20中の光ファイバグレーティング30の反射波長帯域を設定している。

## 【0074】

半導体レーザ素子11のレーザ光出射面に設けられた反射率10%以下の反射防止膜14を介して出射したレーザ光はコリメータレンズ15Aで平行光に変換されて狭帯域フィルタ17へ入射する。狭帯域フィルタ17を透過したレーザ光はコンデンサレンズ15Bで集光されて光ファイバ20へ入射する。

## 【0075】

光ファイバグレーティング30の反射波長特性はグレーティングパターンを製作するときに決定されるため容易に変更できない。そこで、半導体レーザ素子11の3dB利得帯域幅かスペクトラム半値幅よりも、光ファイバグレーティング30の反射波長帯域を広いかまたはほぼ等しく設定し、さらに狭帯域フィルタ1

7に対するレーザ光の入射角をモジュール組立時または調整時に変更できるようにしている。

【0076】

このことにより、半導体レーザ素子11の製造バラツキによって閾値利得帯域バラツキが生じて、その閾値利得帯域に最適な波長が光ファイバグレーティング30から反射できるように、狭帯域フィルタ17へのレーザ光の入射角をモジュール組立時または調整時に調整・固定し、狭帯域フィルタ17での透過波長を所望の波長に設定できる。

【0077】

以上のように、この実施の形態3によれば、半導体レーザ素子11からのレーザ光の入射角を調整する構造を有した狭帯域フィルタ17を結合光学系15が備えるようにしたので、半導体レーザ素子11の製造バラツキによって閾値利得帯域バラツキが生じて、その閾値利得帯域に最適な波長が光ファイバグレーティング30から反射できるという効果が得られる。

【0078】

また、この実施の形態3によれば、半導体レーザ素子11の3dB利得帯域幅またはスペクトラム半値幅よりも広いまたは略等しくなるように、光ファイバグレーティング30の反射波長帯域が設定されるようにしたので、半導体レーザ素子11の製造バラツキによって閾値利得帯域バラツキが生じて、その閾値利得帯域に最適な波長が光ファイバグレーティング30から反射できるという効果が得られる。

【0079】

さらに、この実施の形態3によれば、半導体レーザ素子11からのレーザ光の入射角を調整する構造を有した狭帯域フィルタ17を結合光学系15が備え、半導体レーザ素子11の3dB利得帯域幅またはスペクトラム半値幅よりも広いまたは略等しくなるように、光ファイバグレーティング30の反射波長帯域が設定されるようにしたので、半導体レーザ素子11の製造バラツキによって閾値利得帯域バラツキが生じて、その閾値利得帯域に最適な波長が光ファイバグレーティング30から反射できるという効果が得られる。



## 【 0 0 8 0 】

さらに、この実施の形態 3 によれば、半導体レーザ素子 1 1 からのレーザ光を平行光にして狭帯域フィルタへ出射するコリメータレンズ 1 5 A と、狭帯域フィルタ 1 7 から出射したレーザ光を光ファイバへ集光するコンデンサレンズ 1 5 B とを結合光学系 1 5 が備えるようにしたので、半導体レーザ素子 1 1 からのレーザ光を光ファイバ 2 0 へ狭帯域フィルタ 1 7 を介して効率よく結合できるという効果が得られる。

## 【 0 0 8 1 】

実施の形態 4 .

実施の形態 2 で示した結合 MQW 活性層の半導体レーザ素子 1 6 に実施の形態 3 で示した狭帯域フィルタ 1 7 を適用するようにしても良く、実施の形態 3 と同様の効果が得られる。図 9 はこの発明の実施の形態 4 による半導体レーザ装置の構成を示す図である。図 5 , 図 8 と同一符号は同一または相当する構成を表している。

## 【 0 0 8 2 】

この実施の形態 4 でも、結合光学系 1 5 のコリメータレンズ 1 5 A とコンデンサレンズ 1 5 B との間に狭帯域フィルタ 1 7 が設けられ、結合 MQW 活性層の半導体レーザ素子 1 6 からのレーザ光の入射角を任意の角度に組み込めるような構造を狭帯域フィルタ 1 7 は有している。また同様に、半導体レーザ素子 1 6 の 3 d B 利得帯域幅またはスペクトラム半値幅よりも広いかまたは略等しくなるように、光ファイバ 2 0 中の光ファイバグレーティング 3 0 の反射波長帯域を設定している。

## 【 0 0 8 3 】

半導体レーザ素子 1 6 のレーザ光出射面に設けられた反射率 1 0 % 以下の反射防止膜 1 4 を介して出射したレーザ光はコリメータレンズ 1 5 A で平行光に変換されて狭帯域フィルタ 1 7 へ入射する。狭帯域フィルタ 1 7 を透過したレーザ光はコンデンサレンズ 1 5 B で集光されて光ファイバ 2 0 へ入射する。

## 【 0 0 8 4 】

光ファイバグレーティング 3 0 の反射波長特性はグレーティングパターンを製

作するときに決定されるため容易に変更できない。そこで、半導体レーザ素子16の3dB利得帯域幅かスペクトラム半値幅よりも、光ファイバグレーティング30の反射波長帯域を広いかまたはほぼ等しく設定し、さらに狭帯域フィルタ17に対するレーザ光の入射角をモジュール組立時または調整時に変更できるようにしている。

## 【0085】

このことにより実施の形態3と同様に、半導体レーザ素子16の製造バラツキによって閾値利得帯域バラツキが生じて、その閾値利得帯域に最適な波長が光ファイバグレーティング30から反射できるように、狭帯域フィルタ17へのレーザ光の入射角をモジュール組立時または調整時に調整・固定し、狭帯域フィルタ17での透過波長を所望の波長に設定できる。

## 【0086】

実施の形態5.

SQW活性層の半導体レーザ素子または結合MQW活性層を有する半導体レーザ素子11, 16の活性層の外部に格子間隔不整合による歪みを緩和するための層を設ける(SQW活性層外側の光ガイド層より屈折率が低く、かつ電流障壁にならない薄さの層を光ガイド層の外側に備える)こと、あるいは活性層とバリア層、ガイド層を歪補償構造とすることによって、結晶欠陥の発生を低減することができるようになり、偶発故障率を下げる事が可能となる。

## 【0087】

図10は歪補償構造とした半導体レーザ素子の活性層付近におけるエネルギーバンド構造を示す図である。図10において、61は伝導体、62は価電子帯、63A, 63Bはそれぞれ量子井戸、64はバリア層、65はガイド層、66はクラッド層である。量子井戸63A, 63BはIn組成0.2のInGaAsから、バリア層64はGaAsPから、ガイド層65はGa<sub>0.8</sub>In<sub>0.2</sub>As<sub>0.62</sub>P<sub>0.38</sub>から、クラッド層66はGa<sub>0.51</sub>In<sub>0.49</sub>Pからそれぞれ形成されており、量子井戸63の厚さは8nm, バリア層64の厚さは20nm, ガイド層65の厚さは80nmある。

## 【0088】

実施の形態 2 で説明したように、InGaAs は GaAs 基板と異なる格子定数を持つため、結晶に歪が生じている。格子定数の差の格子定数に対する比を歪量といい、この例においては、バリア層と GaAs 基板との歪量を  $-1.0\%$ 、量子井戸と GaAs 基板との歪量を  $+1.4\%$  とすることにより、基板と活性層付近の間の平均歪量を低減している。

## 【0089】

実施の形態 1 または実施の形態 2 で示した半導体レーザ素子 11, 16 として、格子間隔不整合による歪みを緩和するための層または活性層とバリア層、ガイド層を歪補償構造とした SQW 活性層の半導体レーザ素子または結合 MQW 活性層の半導体レーザ素子を使用することで、実施の形態 1 または実施の形態 2 と同様に、温度調整無しに広い温度範囲で発振波長の安定したレーザ光出力を実現でき、温度モニタおよび冷却器を有する場合でも、半導体レーザ素子の閾値利得の製造バラツキと光ファイバグレーティング 30 の波長特性組合せの管理を緩和することができるという利点がある。

## 【0090】

以上のように、この実施の形態 5 によれば、単一量子井戸の活性層外側の光ガイド層より屈折率が低く、かつ電流障壁にならない薄さの層を半導体レーザ素子 11, 16 が光ガイド層の外側に備えるようにしたので、結晶欠陥の発生を低減することができるようになり、偶発故障率を下げることができるという効果が得られる。

## 【0091】

また、この実施の形態 5 によれば、半導体レーザ素子 11, 16 の活性層、バリア層およびガイド層を歪補償構造に形成されるようにしたので、結晶欠陥の発生を低減することができるようになり、偶発故障率を下げることができるという効果が得られる。

## 【0092】

実施の形態 6.

実施の形態 2 で示した結合 MQW 活性層の半導体レーザ素子 16 における少なくとも 2 つの量子井戸の間隔を  $8\text{ nm}$  以下とすることで、量子井戸を効率よく結

合させることができる。したがって、閾値利得帯域が広く、かつ高効率の半導体レーザ素子16を実現することができ、広い温度範囲で発振波長の安定したレーザ光が得られるため、実施の形態2と同様に、光ファイバグレーティング30を備えた光ファイバ20と光学的に結合させることによって、外部共振器を構成し、温度調整無しに広い温度範囲で発振波長の安定したレーザ光を実現できる。

## 【0093】

また、実施の形態4と同様に、この半導体レーザ素子16の出射側に配置された狭帯域フィルタ17と、半導体レーザ素子16からのレーザ光が狭帯域フィルタ17を介して結合する光ファイバ20と、光ファイバ20内に配置され、反射波長帯が結合MQW半導体レーザ素子16の3dB利得帯域幅かスペクトラム半値幅よりも広いかほぼ等しい光ファイバグレーティング30を配置することで、温度調整無しに広い温度範囲で発振波長の安定したレーザ光を実現できる。

## 【0094】

温度モニタおよび冷却器を有する場合でも、半導体レーザ素子の閾値利得の製造バラツキと光ファイバグレーティング30の波長特性組合せの管理を緩和することができるという利点がある。

## 【0095】

以上のように、この実施の形態6によれば、8nm以下の間隔で形成された少なくとも2つの量子井戸を半導体レーザ素子16が有するようにしたので、量子結合を効率良く発生させることができるという効果が得られる。

## 【0096】

実施の形態7.

実施の形態3または実施の形態4で示した光ファイバグレーティング30として、少なくとも5nm以上の反射帯域を有する光ファイバグレーティングを使用するようにしても良い。このことによって、外部共振器を構成し、広い温度範囲で発振波長の安定したレーザ光を実現でき、かつ1種類の光ファイバグレーティング30で半導体レーザ素子の閾値利得帯域のバラツキに対応できる。

## 【0097】

以上のように、この実施の形態7によれば、少なくとも5nm以上の反射帯域

を光ファイバグレーティング30が有するようにしたので、外部共振器を構成し、広い温度範囲で発振波長の安定したレーザ光を実現でき、かつ1種類の光ファイバグレーティング30で半導体レーザ素子の閾値利得帯域のバラツキに対応できるという効果が得られる。

## 【0098】

実施の形態8.

反射率10%以下の反射防止膜14をレーザ光出射面に施した半導体レーザ素子11, 16と、反射防止膜14の反射率よりも高い反射率の光ファイバグレーティング30を持つ光ファイバ20とを、実施の形態1または実施の形態2で示した半導体レーザ装置に使用するようにしても良い。このことによって、広い温度範囲で光ファイバグレーティング30と同じ波長で発振させることができる。

## 【0099】

また、反射率10%以下の反射防止膜14をレーザ光出射面に施した半導体レーザ素子11, 16と、反射防止膜14の反射率よりも高い反射率の光ファイバグレーティング30を持つ光ファイバ20とを、実施の形態3または実施の形態4で示した半導体レーザ装置に使用するようにしても良い。このことによって、実施の形態3または実施の形態4で使用する狭帯域フィルタ17の持つ波長特性に対応した波長を発振することができる。

## 【0100】

実施の形態9.

狭帯域フィルタ17へのレーザ光の入射角が高温で90°に近づくような入射角調整機構を設けるようにしても良い。例えばこの入射角調整機構は、半導体レーザ装置の温度をモニタする温度モニタと、狭帯域フィルタ17への入射角と狭帯域フィルタ17の透過特性との関係を関数化・テーブル化して記憶し、温度モニタでモニタされた温度と関数化・テーブル化された上記の関係を参照して狭帯域フィルタ17に対する入射角を調整する制御装置とから構成される。半導体レーザ装置の温度に応じて狭帯域フィルタ17へのレーザ光の入射角を変化させ、常に一定の波長が透過するようする。

## 【0101】

このように、狭帯域フィルタ 17 に対するレーザ光の入射角が高温で  $90^{\circ}$  に近づくような入射角調整機構を設けることで、使用温度の上昇に伴い光ファイバグレーティング 30 からの反射光波長が長波長に変化し、広い温度範囲で外部共振器モード発振をさせることができ、かつ光ファイバ増幅器の利得帯内に発振波長を維持することができる。

## 【0102】

なお、以上の各実施の形態 1～9 に示した半導体レーザ装置を励起光源とした光増幅装置を構成しても良い。すなわち、半導体レーザ装置が出射した励起光としてのレーザ光と、信号光としてのレーザ光とを結合する励起光／信号光結合手段と、光ファイバに希土類を添加して構成される希土類添加光ファイバを励起光／信号光結合手段からの励起光によって励起して励起光／信号光結合手段からの信号光を増幅する。このようにすることで、利得波長特性の変動を抑制した光増幅装置を提供できる。

## 【0103】

以上のように、この実施の形態 9 によれば、狭帯域フィルタ 17 へ入射するレーザ光の入射角が高温になるほど  $90^{\circ}$  に近づくように、狭帯域フィルタ 17 への入射角を調整する入射角調整機構を狭帯域フィルタ 17 が備えるようにしたので、使用温度の上昇に伴い光ファイバグレーティング 30 からの反射光波長が長波長に変化し、広い温度範囲で外部共振器モード発振をさせることができ、かつ光ファイバ増幅器の利得帯内に発振波長を維持することができるという効果が得られる。

## 【0104】

また、この実施の形態 9 によれば、この発明による半導体レーザ装置と、半導体レーザ装置が出射した励起光と信号光とを結合する励起光／信号光結合手段と、光ファイバに希土類を添加して構成され、励起光／信号光結合手段からの励起光によって励起されて励起光／信号光結合手段からの信号光を増幅する希土類添加光ファイバとを備えるようにしたので、利得波長特性の変動を抑制した光増幅装置を提供できるという効果が得られる。

## 【0105】

【発明の効果】

以上のように、この発明によれば、温度制御機構を要することなく、簡単な構成で発振波長を一定に保つことができるという効果が得られる。

【0106】

この発明によれば、低い温度制御分解能の温度制御機構または低能力の温度制御機構によって発振波長の変動を抑制できるという効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1による半導体レーザ装置の構成を示す図である。

【図2】 半導体レーザ素子のS Q W活性層付近におけるエネルギーバンド構造を示す図である。

【図3】 光ファイバグレーティングによって発振波長が一定に保たれる動作を説明するための図である。

【図4】 この発明の実施の形態1による半導体レーザ装置の効果を説明するための図である。

【図5】 この発明の実施の形態2による半導体レーザ装置の構成を示す図である。

【図6】 半導体レーザ素子の結合M Q W活性層付近におけるエネルギーバンド構造を示す図である。

【図7】 この発明の実施の形態2による半導体レーザ装置の効果を説明するための図である。

【図8】 この発明の実施の形態3による半導体レーザ装置の構成を示す図である。

【図9】 この発明の実施の形態4による半導体レーザ装置の構成を示す図である。

【図10】 歪補償構造とした半導体レーザ素子の活性層付近におけるエネルギーバンド構造を示す図である。

【図11】 従来の半導体レーザ装置の構成を示す図である。

【図12】 半導体レーザ素子の構造例を示す図である。

【図 1 3】 半導体レーザ素子のMQW活性層付近におけるエネルギーバンド構造を示す図である。

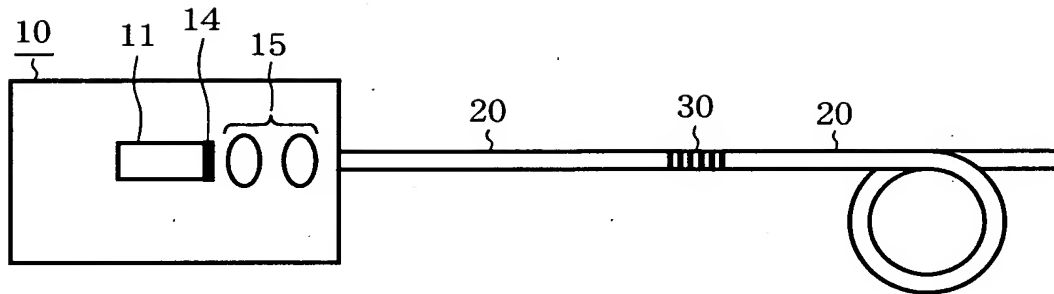
【符号の説明】

1 0 ポンプレーザモジュール、1 1 半導体レーザ素子、1 4 反射防止膜、1 5 結合光学系、1 5 A コリメータレンズ、1 5 B コンデンサレンズ、1 6 半導体レーザ素子、1 7 狭帯域フィルタ、2 0 光ファイバ、3 0 光ファイバグレーティング、4 1 SQW活性層、4 2 伝導帯、4 3 価電子帯、4 4 ガイド層、4 5 クラッド層、4 6 A, 4 6 B 量子井戸、4 7 バリア層、4 8 結合MQW活性層、5 1 電子のバンド、5 2 H ヘビーホールのバンド、5 2 L ライトホールのバンド、5 3 電子の第1サブバンド、5 4 電子の第2サブバンド、5 5 ヘビーホールの第1サブバンド、5 6 ヘビーホールの第2サブバンド、5 7 ライトホールの第1サブバンド、5 8 ライトホールの第2サブバンド、5 9 バリア層、6 1 伝導体、6 2 価電子帯、6 3 量子井戸、6 4 バリア層、6 5 ガイド層、6 6 クラッド層。

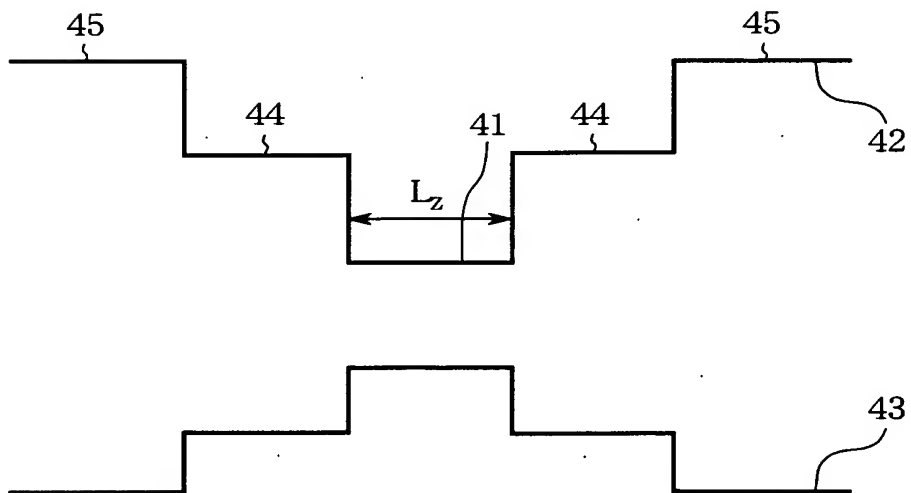


【書類名】 図面

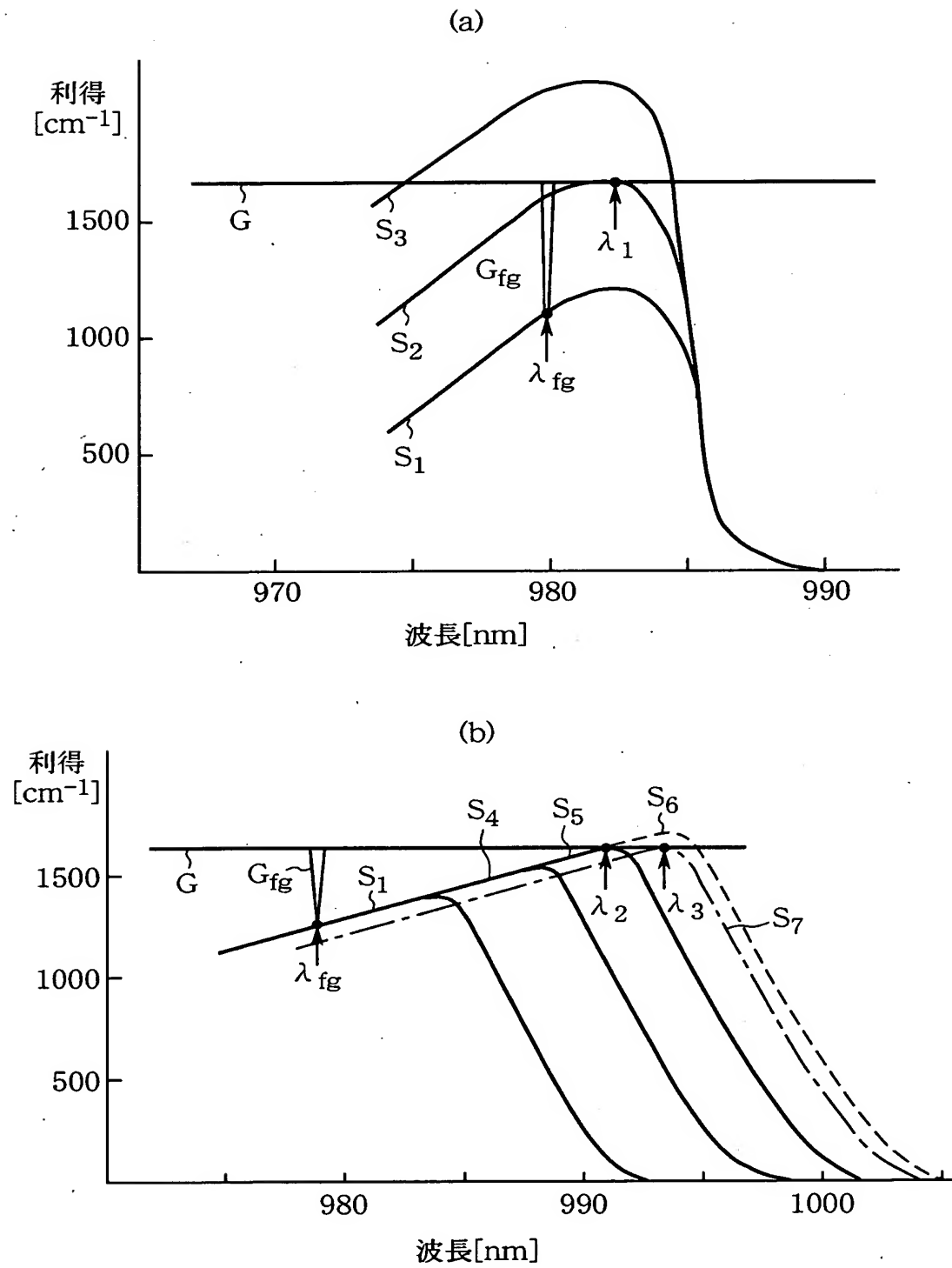
【図 1】



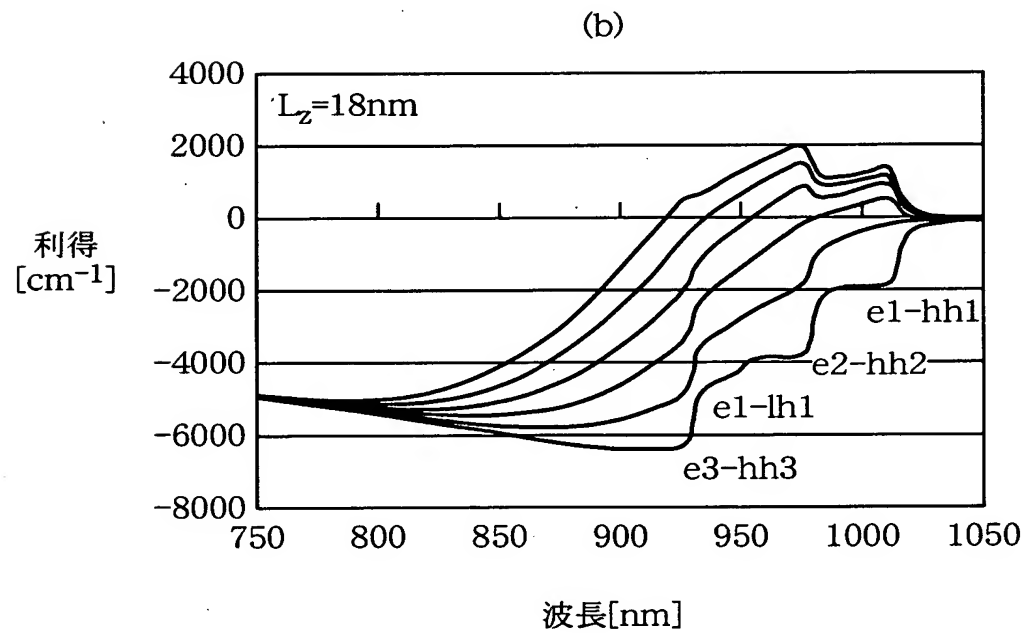
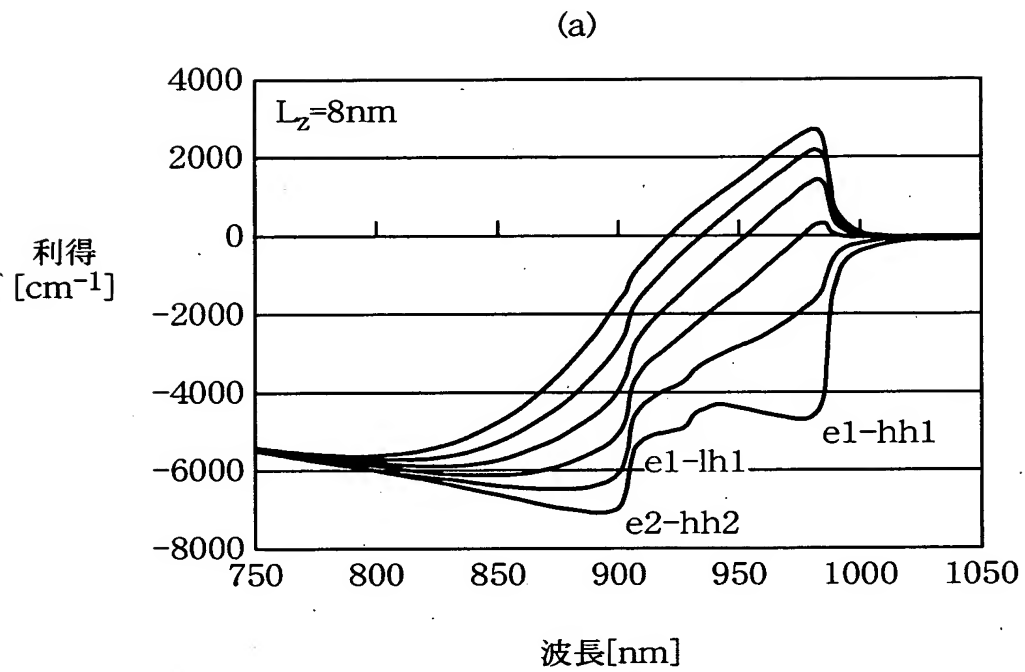
【図 2】



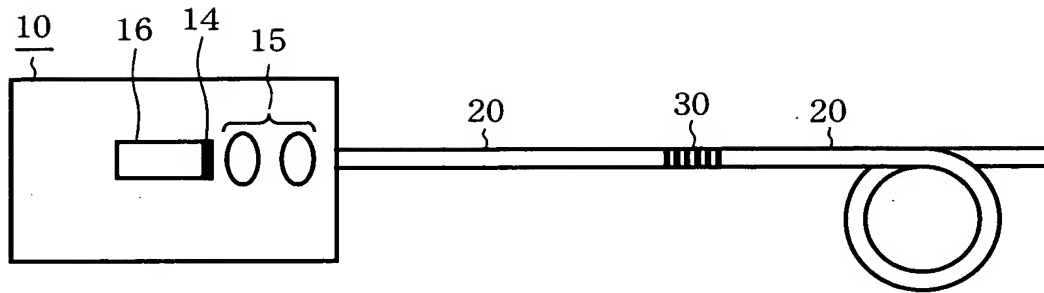
【図3】



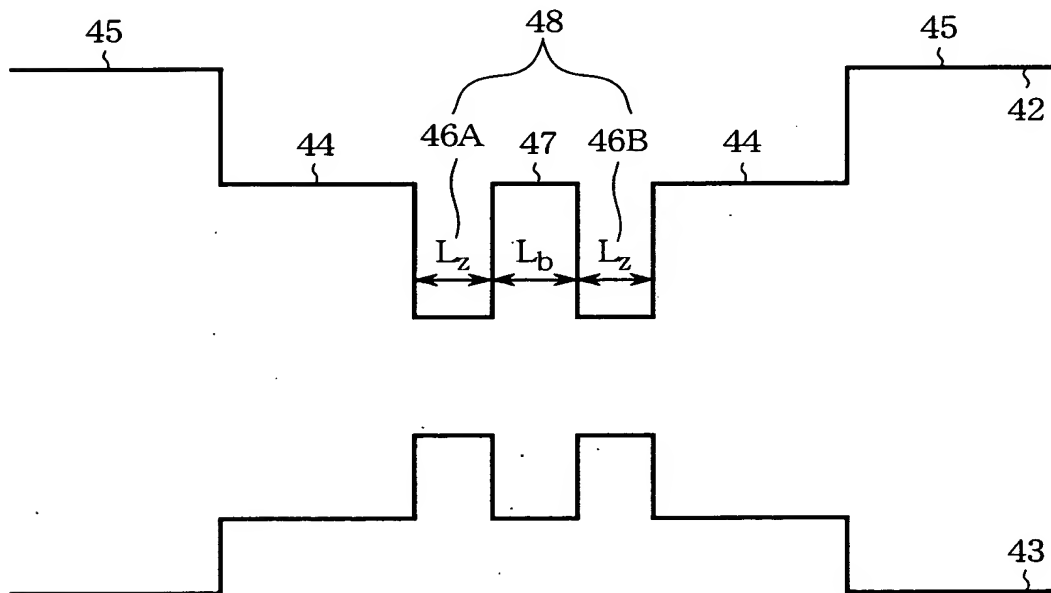
【図 4】



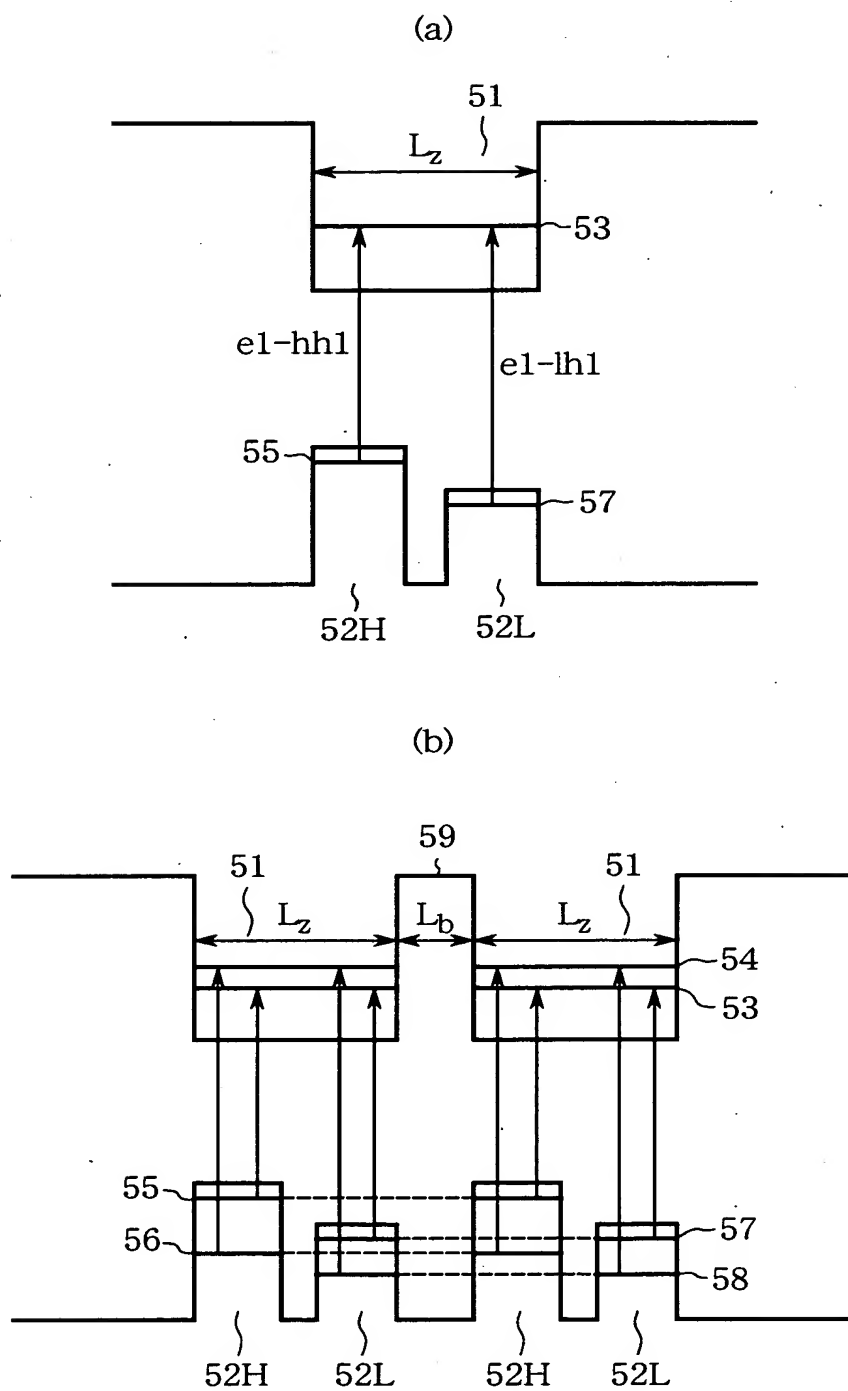
【図 5】



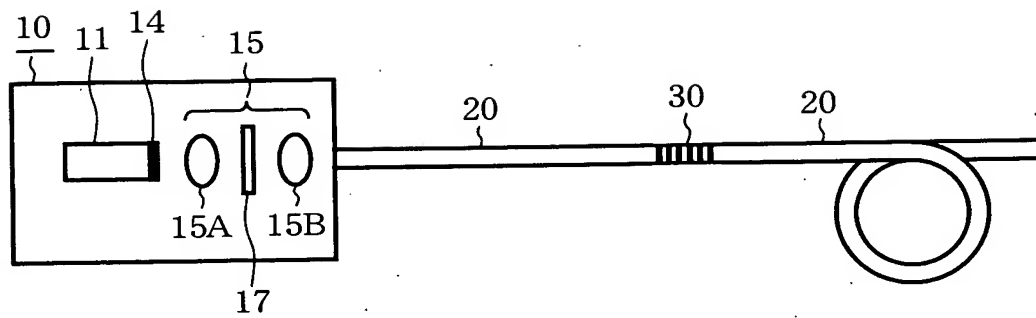
【図 6】



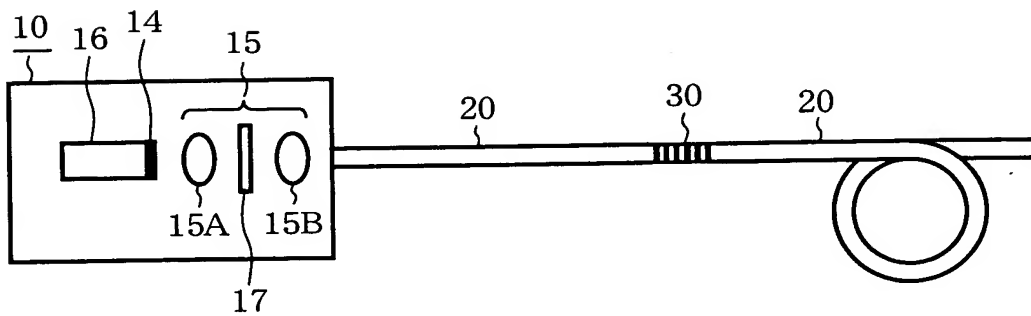
【図 7】



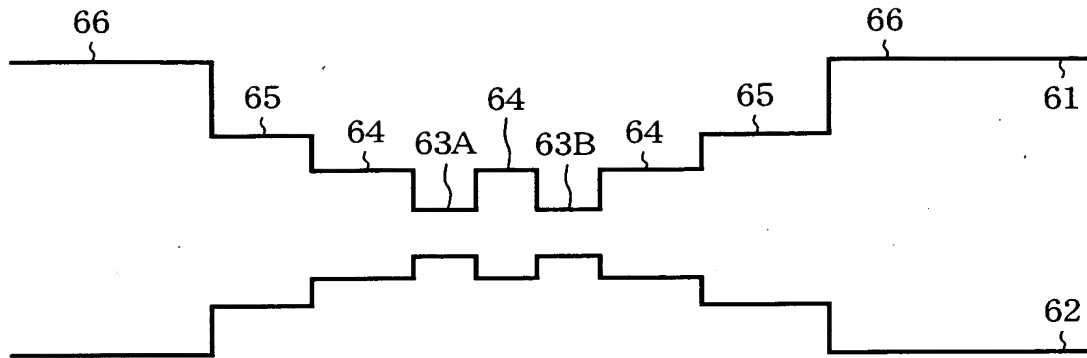
【図 8】



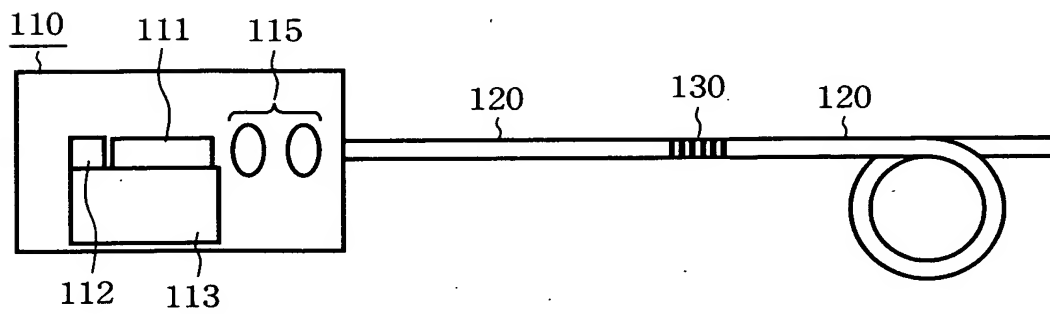
【図 9】



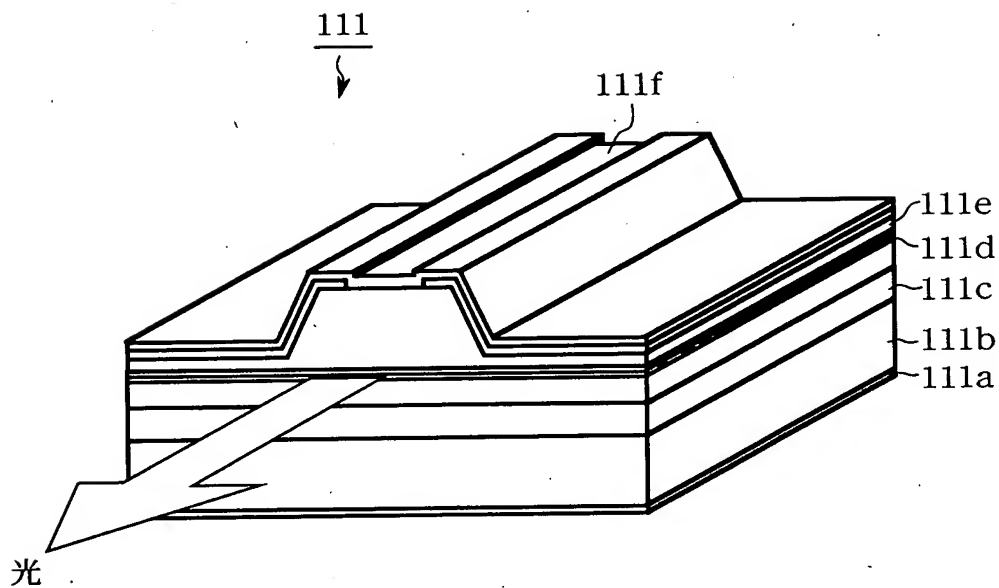
【図 1 0】



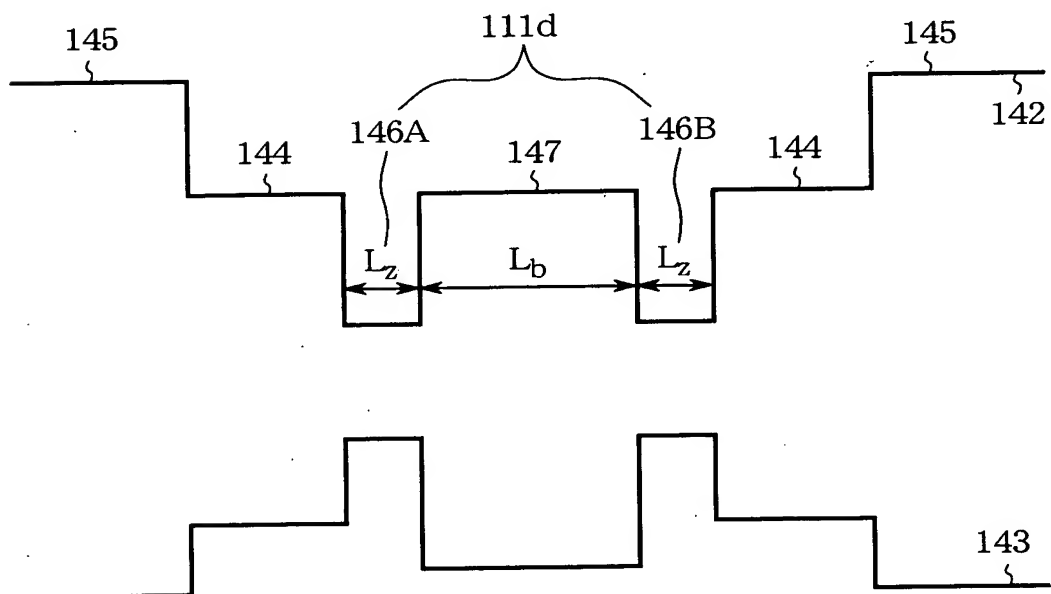
【図 1 1】



【図 1 2】



【図 1 3】





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 発振波長を一定に保つために、温度モニタ、温度制御器および冷却器などからなる温度制御機構が必要になり、構成が複雑になってしまうという課題があった。

【解決手段】 光ファイバグレーティング 3 0 が形成されるとともに、レーザ光を導波する光ファイバ 2 0 と、S Q W 活性層 4 1 を有してレーザ光を出射する半導体レーザ素子 1 1 と、半導体レーザ素子 1 1 から出射したレーザ光を光ファイバ 2 0 へ結合する結合光学系 1 5 とから構成されるポンプレーザモジュール 1 0 とを備えるようにする。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000006013]

1. 変更年月日 1990年 8月24日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号  
氏 名 三菱電機株式会社